

苏南典型地区土壤锌的空间分布特征 及其与土壤颗粒组成的关系

刘付程 史学正 王洪杰 张庆利

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 在 GIS 的支持下,运用地统计学方法研究了苏南典型地区原锡山市土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布特征,并简要分析了土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与土壤颗粒组成之间的关系。结果表明,研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布表现出一定的结构性,其空间相关范围分别达到 6.6km 和 7.5km。Kriging 插值结果表明,土壤全 Zn 含量在研究区域东北部最低,东南部相对较高;有效 Zn 含量与全 Zn 有着相似的空间分布趋势,受土壤自身特性的影响,其含量在北部地区普遍较低。土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与土壤粘粒含量之间呈极显著正相关,而与砂粒含量之间呈显著负相关。

关键词 土壤 Zn; 空间分布; 土壤颗粒组成; 苏南

中图分类号 S159.2

锌是动、植物及人体正常生长发育所必需的微量营养元素,同时也是一种常见的污染重金属元素。土壤是生命体所需 Zn 的主要提供者,研究土壤 Zn 的空间分布将有助于从宏观上发现土壤 Zn 含量的丰缺及 Zn 污染重点控制区的识别,这对区域农业生产和环境管理有着重要意义。地统计学方法已被证明是研究土壤属性空间分布十分有效的方法^[1~3],许多学者曾用该方法来研究土壤重金属的空间变异性^[4,5],并取得了满意的结果。本文以原锡山市为例,应用地统计学方法在县域尺度上开展土壤 Zn 的空间分布特征研究,并分析土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与土壤颗粒组成之间的关系。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

原锡山市位于太湖北岸,面积约为 1066km² (含陆地水域 155 km²),境内除西南湖滨一带有小面积低山丘陵外,其余多为河湖相冲积平原。地势东北略高,西北稍低。成土母质在东北部以黄土性物质为主,其它地区多为湖相沉积母质,因受长江冲积物影响,北部地区土壤粉沙含量较高。境内土壤以水稻土为主,面积占全市耕地总面积的 80% 以上。

1.2 土壤样品采集与分析

2000 年 5 月,在原锡山市共采集了 65 个土壤样品,每个样品都由半径 10m 内的 5 个耕层 (0~15cm) 土样混合组成,样品主要采自水稻土。样点 (即 5 个取样点的中心点) 之间最小距离为 126m,最大间距为 44312m。样点采用 GPS 定位,经 ArcInfo 软件投影转换后生成如图 1 的样点分布图。

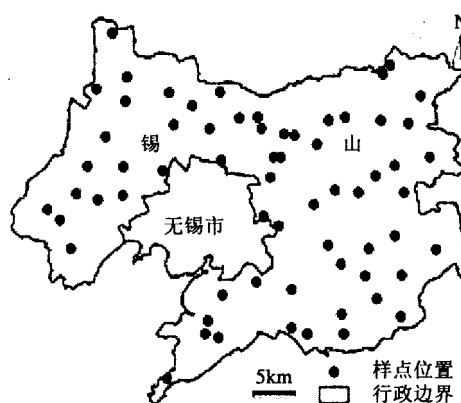


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Sampling site distribution map

样品分析方法采用“中国生态系统研究网络观测与分析”推荐的方法^[6]:土壤全 Zn 采用氢氟酸-硫

酸消煮-原子吸收光谱法,有效 Zn 采用 DTPA 原子吸收分光光度法,土壤质地采用吸管法。

1.3 数据处理

变异函数的计算和模型拟合采用地统计学软件 GS+3.5 (Gamma Design Software, 2002) 进行, Kriging 插值及插值图的生成采用 GS+3.5 和 ArcInfo 共同完成。插值图经研究区域边界图形切割,最后生成相应的研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 分布图。在进行变异函数计算之前,采用域法识别特异值,即样本平均值 \hat{a} 加减 3 倍标准差 $3\hat{\sigma}$ 在此区间 ($\hat{a} \pm 3\hat{\sigma}$) 以外的数据均定为特异值,然后用正常的最小和最大代替相应的特异值^[7],处理后的数据基本满足地统计学分析的要求。

2 结果与分析

2.1 土壤 Zn 含量的统计描述

从表 1 可以看出,土壤全 Zn 的含量变化于 57.7~195.1 mg/kg 之间,平均含量为 98.2 mg/kg,明显高于太湖流域水稻土耕层的土壤 Zn 背景值 73.0 mg/kg^[8],说明随着时间的推移,土壤全 Zn 含量呈增加的趋势。土壤有效 Zn 的平均含量为 1.73 mg/kg,与研究区域第二次土壤普查时的 1.62 mg/kg (无锡县土壤志,1983) 相差不大。二者变异系数分别为 33%和 40%,属中等变异性^[7],这与研究区域土壤 Zn 来源的多样性有关,如乡镇企业的废水、废气、废渣及化学肥料大量施用都可以导致土壤 Zn 含量的变异性增强。

表 1 土壤耕层全 Zn 和有效 Zn 的统计描述 (mg/kg)

Table 1 Descriptive statistics of total Zn and available Zn in topsoil

	样本数	平均值	中数	标准差	最小值	最大值	变异系数	偏度	峰度
全 Zn	65	98.2	86.2	32.24	57.7	195.1	33%	1.20	0.38
有效 Zn	65	1.73	1.44	0.70	0.69	3.57	40%	1.03	0.13

2.2 土壤全 Zn 和有效 Zn 空间分布的变异函数分析

变异函数是分析变量空间结构特征十分有效的工具^[1, 3],为此分别计算了研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 的实验变异函数,并用不同的理论模型来拟合,结果发现,两者均与指数模型符合较好。指数模型的表达式为:

$$\hat{\alpha}(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-h/a)]$$

式中 h 表示分隔两点的矢量, $\hat{\alpha}(h)$ 表示半变异函数, C_0 为块金值, C_1 为基台值减去 C_0 的值, a 为变程参数,对于指数模型而言,实际变程值为 $3a$,表示观测点之间存在相关性的最大距离^[1, 3]。

图 2 是土壤全 Zn 和有效 Zn 的实验变异函数和理论变异函数曲线图。从图中可以看出,两者的实

验变异函数具有相似的变化趋势,理论变异函数均具有明显的块金值(C_0)和基台值(C_0+C_1),表明研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布具有明显的结构性。但二者的块金值都较大,土壤全 Zn 达到 $500\text{mg}^2/\text{kg}^2$,有效 Zn 为 $0.268\text{mg}^2/\text{kg}^2$,分别占到其相应基台值 $1046\text{mg}^2/\text{kg}^2$ 和 $0.488\text{mg}^2/\text{kg}^2$ 的 48%和 55%,这表明随机过程对土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布仍有较大的影响。拟合模型的变程($3a$)均较小,全 Zn 为 6.6km,有效 Zn 为 7.5km,说明影响土壤 Zn 累积的因素存在着多样性^[5]。实际上,土壤中的 Zn(包括全 Zn 和有效 Zn)部分是来自成土母质,部分是由外界进入的,如化肥施用、污水灌溉、大气降尘等都可以增加土壤 Zn 含量^[9]。来自成土母

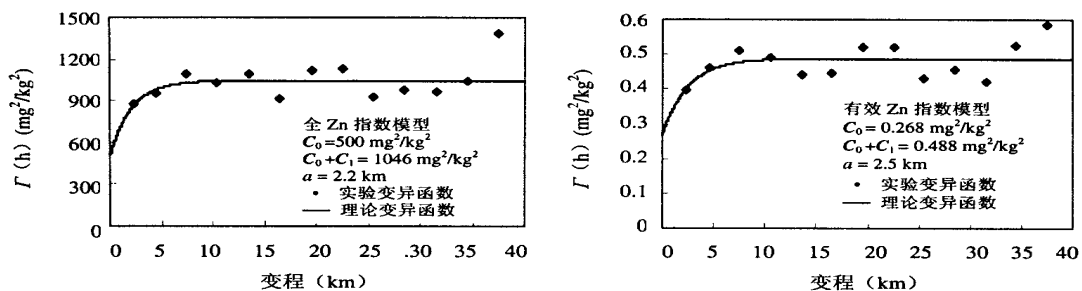


图 2 土壤全 Zn 和有效 Zn 的实验半变异函数及其拟合理论模型

Fig. 2 Experimental semivariograms of total soil Zn and available Zn and their fitted exponential models

质中的 Zn,在空间分布上与母质的分布基本一致,通常具有较大的空间相关范围,而外界进入土壤中的 Zn 往往在空间和时间上都存在着不稳定性,表现出较强的随机性,从而造成土壤中的 Zn 只在较小的范围内存在相关性^[5]。

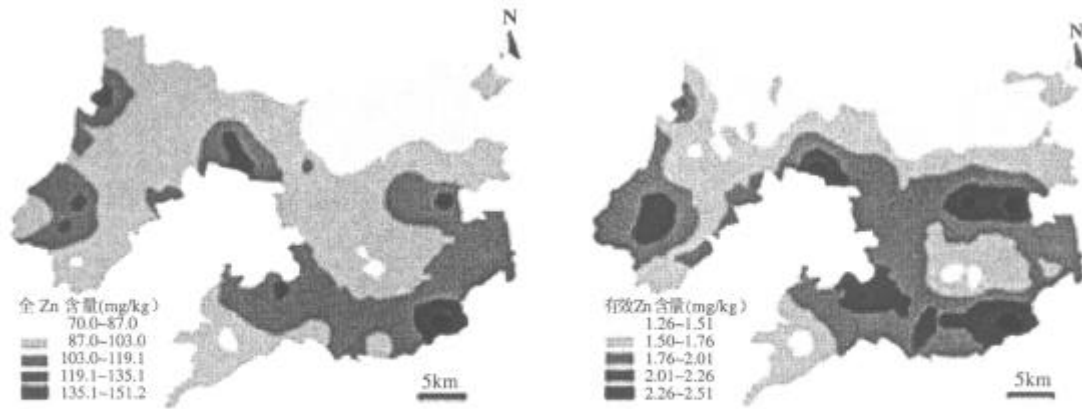


图 3 土壤全 Zn 和有效 Zn 含量的 Kriging 插值图

Fig. 3 Maps of kriging estimates of total soil Zn and available Zn

从图 3 可以看出,土壤全 Zn 含量在研究区域东北部的高平田区相对较低,这可能与这一带黄土性成土母质有关。已有研究表明,黄土性母质的 Zn 含量普遍较低^[9];而在无锡市周边地区及研究区域的东南部含量较高,可能与这一带繁忙的交通运输有关。交通扬尘及汽车尾气在城市周边地区及主要交通沿线的沉降,可导致土壤全 Zn 含量增加。乡镇企业尤其是冶金化工类企业排放的各类废物,可能是导致土壤全 Zn 含量高值斑块形成的主要原因,如在研究区域东南部和西部的相对高值斑块区,就分别分布有无锡市兴宝化学镀层厂、扬市稀有金属冶炼厂、锡西电镀有限公司和太湖油漆制造厂等年产值在百万元以上的大中型企业。

有效 Zn 含量的空间分布与全 Zn 有着相似的趋势(图 3),全 Zn 含量高的地区有效 Zn 含量也较高。相关分析表明,有效 Zn 含量与全 Zn 之间存在着极显著的正相关关系($r=0.89^{**}$, $p<0.01$),这表明,影响全 Zn 分布的因素同时也影响着有效 Zn 的空间分布。由于有效 Zn 含量还受进入土壤的外源 Zn 形态及土壤本身性质的影响,因此其空间分布比全 Zn 更为复杂,这从有效 Zn 有着比全 Zn 更大的块金效应上得到反映。有效 Zn 的空间分布与全 Zn 空间分布最大的差异在研究区域的西北部,该地区 Zn 的有效性要明显低于其它地区,这可能是成土过程中水分条件影响的结果(该地区土壤具有明显的潜育化

2.3 土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布特征

为了能更直观地反映研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布和变化特征,在所得变异函数模型的基础上,采用 block kriging 法绘制了两者的空间分布图(图 3)。

特征),因为较高的土壤含水量有利于土壤对 Zn 的吸附和固定,从而降低 Zn 的有效性^[9]。

2.4 土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与土壤颗粒组成之间的关系

从以上分析可以看出,成土母质、人为活动等对土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布均有较大的影响,但土壤自身的性质(如土壤质地、有机质含量、pH 等)对土壤全 Zn 含量及其有效 Zn 也能产生明显的影响。表 2 是土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与不同粒级颗粒含量之间的相关分析结果。可以看出,全 Zn 和有效 Zn 含量均与粘粒含量之间存在着极显著正相关,与沙粒之间呈显著负相关,而与粉粒之间相关性较差。这是不同粒径土壤颗粒的矿物组成及其吸附性能差异导致的结果。一般的含 Zn 矿物多是易被风化的,因此土壤 Zn 主要集中分布在颗粒较细的土壤粘粒中^[9];此外,颗粒越细,带负电荷的粘土矿物(如蒙脱石等)也越多,比表面越大,其吸附性能也就越大,这进一步加强了 Zn 在粘粒中的富集。对于河湖相沉积物来说,其沙粒的矿物组成主要以抗风化能力较强的石英为主,其 Zn 含量和对 Zn 的吸附能力都远不如粘粒,因此土壤沙粒含量越高,其含 Zn 量也就越低。被粘粒吸附的 Zn 多位于土壤胶体的表面,随着土壤环境条件发生变化,可以逐步释放出来,成为可被植物利用的有效 Zn,这可能是土壤有效 Zn 含量与粘粒含量呈极显著正相关的主要原因。

表 2 土壤全 Zn 和有效 Zn 含量与不同粒级土壤颗粒含量之间的相关系数

Table 2 Relationship of soil particle contents with total Zn and available Zn content

	砂粒 (0.02~2mm)	粉砂 (0.002~0.02mm)	粘粒 (<0.002mm)
全 Zn	-0.317*	-0.030	0.459**
有效Zn	-0.293*	0.009	0.366**

** $p < 0.01$ (2-tailed); * $p < 0.05$ (2-tailed)

土壤颗粒组成与全 Zn 和有效含量的这种关系,也在不同程度上影响到研究区域全 Zn 和有效 Zn 的空间分布。在研究区域的北部地区,其土壤颗粒组成受长江冲积物影响较大,粉砂含量较高,而粘粒含量也普遍低于南部地区,因此总的来说,北部地区土壤全 Zn 和有效 Zn 的含量要比南部低,图 3 也能直观的反映出这一分布特点。

3 结论

变异函数分析表明,研究区域土壤全 Zn 和有效 Zn 含量的空间分布表现出一定的结构性,其空间相关距离分别为 6.5km 和 7.5km;受随机因素的影响,两者的块金效应明显,均在 50% 左右,表明随机过程对土壤全 Zn 和有效 Zn 的空间分布影响较大。

Kriging 插值结果表明,土壤全 Zn 含量在研究区域东北部最低,东南部较高;而有效 Zn 含量与全 Zn 有着相似的分布趋势,受土壤自身特性影响,其含量在北部地区普遍低于南部地区。

土壤颗粒组成与土壤全 Zn 和有效 Zn 含量的相关分析表明,土壤全 Zn 与有效 Zn 含量与土壤粘粒含量之间均呈极显著正相关,但与砂粒含量之间呈显著的负相关,反映了河湖相沉积物上发育土壤 Zn

含量的普遍特点^[9]。

参考文献

- 1 Webster R. Quantitative spatital analysis of soil in the field. *Advance in soil science*, 1985, (3): 2~66
- 2 Goovaerts P. Geostatistics in soil science:state of the art and perspectives. *Geoderma*, 1999, 89: 1~45
- 3 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999, 35~149
- 4 Lin YP, Chang TK. Simulated annealing and kriging method for identifying the spatial patterns and variability of soil heavy metal. *Journal of Environmental Science and Health*, 2000, 35 (7): 1089~1115
- 5 张乃明, 李保国, 胡克林. 太原污灌区土壤重金属和盐分含量的空间变异特征. *环境科学学报*, 2001, 21(3): 349~353
- 6 刘光菘. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996, 63~64, 141~149, 257
- 7 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异特征. *地理研究*, 2001, 20(2):161~169
- 8 夏增禄, 李森照, 李廷芳等. 土壤元素背景值及其研究方法. 北京: 气象出版社, 1987, 314~319
- 9 刘铮. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996. 177~201

SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL Zn AND RELATIONSHIP BETWEEN SOIL Zn AND SOIL PARTICLE COMPOSITION IN TYPICAL AREA OF SOUTHERN JIANGSU PROVINCE

Liu Fucheng Shi Xuezheng Wang Hongjie Zhang Qingli

(*Institute of soil science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract A geostatistics method combined with GIS was applied to the study of the spatial distribution of total soil Zn and available Zn in the typical area of southern Jiangsu province. The results showed that the total Zn and available Zn had a relatively good correlationsip and their ranges of relationship extended to about 6.6km and 7.5km, respectively. The distribution maps of the total Zn and available Zn drawn based on kriging interpolation depicted their spatial distribution features. Total Zn and available Zn contents were positively correlated with soil clay(<0.002mm) content, but negatively correlated with soil sand(0.02-2mm) content.

Key words Soil Zn, Spatial distribution, Soil granule composition, Southern Jiangsu province